



## Editorial

### 智能制造

李培根, 李新宇, 高亮, Akhil Garg, 沈卫明

*The State Key Laboratory of Digital Manufacturing Equipment and Technology, School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*



李培根



李新宇



高亮



Akhil Garg



沈卫明

智能制造是一种先进的制造模式, 通过计算机集成制造、高度适应性与设计个性化、系统重构、数字化制造过程与资源管理以及灵活有序的技术培训来实现。本期智能制造专题聚焦于先进信息与通信技术(如人工智能、拓扑优化、云计算、5G、工业互联网、物联网等), 旨在解决智能制造中设计、材料、制造、物流和服务等相关问题。本期专题共包含了8篇来自不同国家和地区学者撰写的论文。这些文章针对智能制造的设计、材料和制造等过程中出现的前沿问题, 提出相应的解决方案。

## 1. 工程设计阶段

在本期专题中, Wang等提出了一种新型人机交互辅助设计模式(human-aided design, HAD)。该模式相比于计算机辅助设计(computer-aided design, CAD)模式具有更大优势, 其中整个产品设计主要通过等几何拓扑优化来完成。他们利用基于规则、不规则和多尺度结构设计域上的三个产品设计问题对所提出的设计模式进行了验证, 发现仍需要解决如积分点数量较少和相邻设计层之间难以自动生成连接面等问题。未来他们将专注于解决上述两个问题, 并探索该设计模式在涉及热传导、流体-结构相互作用和电磁学等产品设计中的应用。

在设计过程中, 可通过开发并应用拓扑优化方法来获取复杂功能部件的最优工程设计。Hong等考虑产品设计过程中出现的随机不确定性, 提出一种基于可靠性和优化解耦模型以及教学-学习优化算法的新型可靠性拓扑优化方法, 选择大吨位液压机底板结构设计案例对所提出方法进行实例验证。实验结果表明该方法具有输入参数少、求解速度快等特点, 能够提供一个简单、快速、高效的复杂功能部件优化设计方案。

## 2. 材料与制造

材料性质对于所制造的部件的质量(如强度、尺寸精

度、疲劳寿命等) 有较大的影响, 尤其是结构复杂的大型部件。Zhao 等提出了一种基于变形力的残余应力场无损检测方法, 用于推断并去除工件内部由于操作而产生的不平衡残余应力。他们利用大型航空结构件的生产制造为实例对其所提出的监测方法进行了验证, 结果表明该方法具有较高的可靠性、准确性和灵活性, 并可以应用于航空航天、核电和造船等领域中的复杂部件和材料的质量检测。针对复合材料的质量难以被准确预测的问题, Wang 等提出基于数字孪生可视化模型与极限学习机的复合材料质量检测方法, 用于对具有单一基体和单一增强剂三层结构的复合材料进行质量预测。实验结果表明该方法能有效预测所选材料的质量。未来可以将该方法进一步扩展至其他类型复合材料的质量检测中。

云制造 (cloud manufacturing, CMfg) 是一种智能制造模式, 可以将制造资源虚拟化并封装到共享云中, 从而向消费者提供服务。云框架具有强大的存储、网络和计算资源能力, 主要利用先进的信息和通信技术来分析、解释、优化、预测大型数据。在 CMfg 中, 最优的资源调度对于提高效率、降低成本并提供高质量服务非常重要, 但是有两个局限性: ①工业机器人、机床和输送装置通常是静态配置的, 这使得对于多品种、小批量生产制造模式的重新配置与资源优化调度非常困难; ②不同机器产生的大规模数据会导致数据流量与网络拥塞问题。为了解决上述问题, Yang 等提出了软件定义云制造 (software-defined cloud manufacturing, SDCM) 模型, 将控制逻辑从硬件 (工业机器人、工具等) 转移到软件中, 从而实现系统的快速配置、操作与更新, 并提出一种混合遗传算法、Dijkstra 最短路径算法和排队算法的数据流量控制方法来防止网络拥塞, 减少 SDCM 的通信延迟。

产品的大规模个性化和定制化生产可以通过在更高智

能水平下运行整个制造系统 (包括 CMfg) 来实现, 如使用具有自我感知、自我比较、自我预测、自我优化的 “Self-X” 智能制造网络。Li 等提出一种工业知识图谱和图嵌入方法来实现制造系统的认知智能。该方法能够克服大规模制造过程中存在的资源组织的局限性, 并建立机器与人在回路之间的依赖关系。

工业互联网平台是推进中国制造 2025 和工业 4.0、实现制造业现代化和数字化的主要平台之一。该技术可以通过封装成可交付的高质量制造服务与解决方案来实现大型制造资源的虚拟化、统一化与高效利用。Pang 等提出一种考虑功能协作和数量协作的双重维度服务协作方法, 建立双重维度制造服务协同优化模型, 设计一种具有多个局部搜索算子的多目标模因算法进行求解, 以实现制造服务协作优化的功能需求与数量需求。

产品质量、能耗、生产效率和污染物排放等关键绩效指标 (key performance indicators, KPI) 是一个重要的问题。工业 (特别是离散型工业) 数据不充分, 具有高度非线性、不确定性, 现有的传感器和离线实验室分析方法无法满足实时改进工业生产的需求。为解决上述问题, Sun 等提出了一种基于信息论与非线性因果模型的新型特征选择方法, 以量化原始工业数据集中每个特征与 KPI 之间的因果效应, 并自动选择具有非零因果效应的特征来构造特征子集, 通过结合 AdaBoost 集成策略开发了一个工业过程 KPI 软传感器。

本期智能制造专题所收录的论文简要介绍了解决智能制造领域关键问题的可行方案。然而, 对于智能制造技术的研究与利用还远未成熟, 需要来自不同学科 (如人工智能、制造、材料、数学、通信、电子) 的专家共同协作进行跨学科研究, 以开发整体解决方案并推动智能制造的发展。